

MODIFIKASI METODE PERHITUNGAN FAKTOR TOPOGRAFI MENGGUNAKAN DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM) DALAM MENDUGA EROSI

(Calculation Methods of Topographic Factors Modification Using Data Digital Elevation Model (DEM) To Predict Erosion)

HENGKI SIMANJUNTAK¹⁾, HENDRAYANTO²⁾ DAN NINING PUSPANINGSIH³⁾

¹⁾ Staf BPDAS Baturusa Cerucuk, Pangkalpinang

^{2,3)} Dosen Departemen Manajemen Hutan, IPB

Email: hengki152@gmail.com

Diterima 19 November 2017 / Disetujui 17 Januari 2018

ABSTRACT

Erosion is a crucial information for sustainable management of land resources within a particular watershed. The information of erosion is needed for land resource management planning, and is generally counted by USLE (Universal Soil Loss Equation). One of the parameters in USLE is topographic factor (LS). The determinations of LS in erosion estimation model are vary, both in terms of LS factor equation, as well as in terms of the length of the slope (λ) and slope (s) measurements. There are at least 3 methods used to calculate slope factors in spatial operation, i.e (1) Input of the LS Value from Table (INT), (2) Flow accumulation, and (3) Cell Size. The study was designed to obtain a method of calculation that gives the smallest topographic factor and in order to obtain a LS factors that similar to the slope information. Research location in Kampa Sub watershed, The LS determination in Kampa Sub watershed basically are with (INT) and without calculating λ and s . INT method is determination without calculating λ and s , LS value is generate from the contour map and DEM SRTM by giving LS value from table reference of LS value. The Flow Accumulation and Cell Size are determination of LS Value by calculating λ and s . The Flow Accumulation method modifies the determination of λ and s using the middle value of s , λ per land use, and λ and s per cell. Cell Size method determines λ using the amount of cell size. The results showed that the "cell size" and "INT" methods were the best method for topographic factor (LS) calculation, because LS value of "cell size" and "INT" methods are smaller than the flow accumulation method and the LS value similar to the slope information. LS value from that methods generated weighted value in average of 0,55–0,58.

Keywords: cell size, flow accumulation, flow direction, the length of the slope, USLE

ABSTRAK

Informasi laju erosi di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperlukan untuk pengelolaan sumberdaya lahan secara lestari. Informasi laju erosi untuk keperluan perencanaan dalam pengelolaan sumberdaya lahan umumnya diduga menggunakan USLE (Universal Soil Loss Equation). Salah satu parameter dalam USLE, adalah faktor topografi (LS). Penentuan faktor LS dalam model pendugaan erosi beragam, baik dalam hal persamaan, maupun dalam hal penentuan panjang lereng (λ), dan kelerengan (s). Penentuan faktor LS menggunakan sistem informasi geografis yang sering digunakan paling sedikit ada 3 metode, yaitu (1) Input Nilai Tabel (INT), (2) Akumulasi aliran (Flow Accumulation), dan (3) Ukuran sel (Cell Size). Penelitian ini dirancang untuk mendapatkan metode perhitungan yang memberikan faktor LS terkecil dan distribusi LS yang sesuai dengan informasi kelerengan. Lokasi penelitian dilakukan pada Sub DAS Kampa, faktor LS yang dikaji pada Sub DAS Kampa dilakukan tanpa dan dengan perhitungan λ dan s . Metode INT merupakan penentuan faktor LS tanpa perhitungan λ dan s , melainkan memberikan atribut nilai LS berdasarkan referensi tabel nilai LS pada kelas lereng yang dihasilkan dari peta kontur dan citra DEM SRTM. Metode Flow Accumulation dan Cell Size menghitung faktor LS menggunakan λ dan s . Flow Accumulation memodifikasi penentuan λ dan s menggunakan nilai tengah s , λ per penutupan lahan, dan λ dan s per sel. Sedangkan Metode Cell Size menentukan besaran λ dari ukuran sel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Metode "Cell Size" dan "INT" merupakan metode terbaik dalam perhitungan faktor topografi (LS) karena memiliki nilai lebih kecil dari Metode flow accumulation dan nilai LS yang dihasilkan sesuai dengan informasi kelerengan. Nilai LS menggunakan kedua metode tersebut berkisar 0,55 – 0,58.

Kata kunci: akumulasi aliran, arah aliran, panjang lereng, ukuran sel, USLE

PENDAHULUAN

Informasi laju erosi di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperlukan untuk pengelolaan sumberdaya lahan secara lestari. Informasi laju erosi untuk keperluan perencanaan dalam pengelolaan sumberdaya lahan umumnya diduga menggunakan persamaan umum pendugaan laju erosi dengan Metode USLE (Universal Soil Loss Equation), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation,) dan MUSLE (Modified Universal Soil

Loss Equation) (Wischmeier dan Smith 1978; Findiana *et al.* 2013; Harsoyo 2010; Kinnell 2005). Salah satu parameter dalam USLE, RUSLE maupun MUSLE adalah faktor topografi (LS).

Penentuan faktor LS dalam model pendugaan erosi beragam, baik dalam hal model faktor LS nya (Rodríguez dan Suárez 2010), maupun dalam hal pengukuran panjang lereng (λ), dan kelerengan (s), terutama pengukuran λ dan s menggunakan perangkat lunak

Sistem Informasi Geografis (SIG) (Desmet dan Govers 1996; Panagos *et al.* 2015). Faktor LS dalam Model *Soil Water Assessment Tool* (SWAT) tergantung dari informasi kelereng (s) yang diturunkan dari data *Digital Elevation Model* (DEM) (Neitsch *et al.* 2009). Panjang lereng (λ) dalam Model *Agricultural Non Point Source* (AGNPS) diukur secara manual, yang kemudian disesuaikan agar panjang lereng tidak melebihi nilai maksimum parameter panjang lereng model AGNPS (Londongsalu 2008; Simarmata *et al.* 2016). Sedangkan faktor LS dalam Model *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation* (ANSWERS) menggunakan informasi kelereng (SL) yang diturunkan dari DEM (Arini dan Prasetyo 2007; Hidayat 2009).

Penelitian-penelitian pendugaan erosi baik menggunakan model USLE/RUSLE, maupun MUSLE dengan data DEM (raster), penentuan λ untuk mendapatkan faktor LS biasanya menggunakan operasi spasial arah aliran (*flow direction*) dan aliran akumulasi (*flow accumulation*) (Esther 2009; Ganasri dan Ramesh 2015). Namun beberapa penelitian pendugaan erosi menggunakan data polygon (vektor), dalam mendapatkan faktor LS juga dilakukan menggunakan polygon (peta) kelas kelereng. Dimana tiap kelas lereng memiliki satu nilai LS (Sutapa 2010; Utomo dan Aprilia 2014; Kumendong *et al.* 2015).

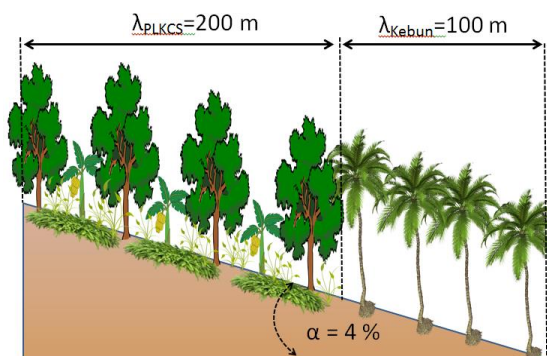
Prahasta (2002) menyatakan bahwa salah satu kelebihan gambaran permukaan bumi dalam bentuk citra raster yang didapat dari radar atau satelit penginderaan jauh selalu lebih aktual dari pada bentuk vektornya. Lebih lanjut DeMers (2005) menyatakan bahwa penyajian informasi elevasi dalam model data vektor tidak terdefinisi dengan baik, karena telah berubah menjadi informasi permukaan yang menyiratkan daerah dengan data elevasi yang sama. Penyajian elevasi yang sama diperoleh dengan jalan klasifikasi dan penyederhanaan. Klasifikasi dan penyederhanaan inilah yang dilakukan secara subyektif (*personal error*) sehingga kadang-kadang ditemui adanya penyederhanaan yang berlebihan (*over simplification*), sedemikian rupa sehingga variasi informasi kebumian yang sesungguhnya menjadi berkurang, bahkan hilang.

Selanjutnya pendekatan *flow accumulation* (Anghel dan Todica 2008; Bosco *et al.* 2009; Ganasri dan Ramesh 2015; Markov dan Nedkov 2016; Tombuş *et al.* 2012) menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) dalam perhitungan nilai LS belum pernah dibandingkan dengan pendekatan ukuran sel (*cell size*) (Nontananandh dan Changnoi 2012; Sulisty 2011). Kedua pendekatan menggunakan penentuan panjang lereng (λ) yang berbeda. Bila pendekatan *flow accumulation*, λ ditentukan dari *flow accumulation* dikali ukuran sel (*cell size*), sedangkan pendekatan *cell size*, λ ditentukan dari ukuran sel itu sendiri.

Adanya perbedaan cara mendapatkan faktor LS antara menggunakan data vektor dan raster, serta perbedaan penentuan λ perlu dikaji untuk memberikan gambaran terhadap hasil faktor LS yang diperoleh melalui berbagai pendekatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode perhitungan LS yang memadai ditinjau dari nilai dan pola sebaran LS di suatu DAS.

METODE PENELITIAN

Panjang lereng (λ) dan kelereng (s) dalam persamaan penentuan faktor topografi (LS) (Wischmeier dan Smith 1978) bersifat linear positif yang berarti semakin besar λ dan s maka LS akan semakin besar. Penentuan LS umumnya berdasarkan unit kelas lereng, sehingga setiap kelas lereng yang sama memiliki nilai LS yang sama. Nilai LS dihitung dengan persamaan tertentu berdasarkan λ dan s kelas lereng dan nilai LSnya telah dipublikasikan (Hardjowigeno dan Widiatmaka 2007; Kironoto 2003 dalam Sutapa 2010). Dalam penelitian ini pendekatan tersebut diistilahkan sebagai “Input Tabel”. Penentuan faktor LS per kelas lereng berdasarkan nilai λ dan s kelas lereng tersebut berimplikasi pada bias nilai λ di setiap penggunaan lahan yang ada di dalam kelas tersebut. Perkalian unit LS dengan unit penggunaan lahan cenderung mengakibatkan *over estimation* nilai LS untuk setiap penggunaan lahan. Penentuan LS di setiap unit penggunaan lahan dalam hal ini dinilai lebih realistis dibandingkan dengan penentuan LS berdasarkan kelas kemiringan lereng (Gambar 1).

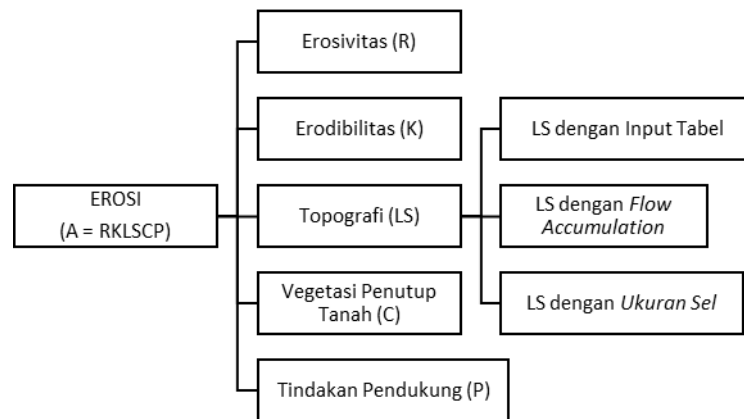


Sumber: Dokumentasi Pribadi
Gambar 1. Ilustrasi panjang lereng

Panjang lereng (λ) gabungan antara kebun dan pertanian lahan kering campur semak (PLKCS) sebesar 300 m (Gambar 1), akan dilakukan pemisahan (*cluster*) λ per penutupan lahan menjadi λ kebun sebesar 100 m dan λ PLKCS sebesar 200 m. Sehingga nilai λ mewakili penutupan lahan di atasnya.

Penentuan *LS* menggunakan persamaan Wischmeier dan Smith (1978) memerlukan informasi λ dan *s*. Dalam

hal penentuan λ terdapat dua pendekatan umum, yaitu pendekatan arah-akumulasi (*flow direction-accumulation*) dan ukuran sel. Pendekatan arah-akumulasi aliran menghasilkan distribusi nilai λ sel yang semakin besar untuk sel yang lebih hilir, padahal arah ukuran sel konstan sesuai dengan resolusi data DEM yang digunakan. Kerangka pikir penelitian secara diagramatik disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

Penelitian dilakukan pada Sub DAS Kampa yang memiliki luas ± 1.031 Ha dengan jumlah sel sebanyak 11.457 sel. Sub DAS Kampa merupakan bagian dari DAS Kampa dengan luasan mencapai ± 44.465 Ha. DAS Kampa termasuk kedalam kategori DAS kecil. Berdasarkan DEM SRTM Sub DAS Kampa memiliki ketinggian 14–63 m dari permukaan air laut, didominasi oleh kelas lereng $< 8\%$ (86%) (Tabel 1 dan Gambar 3a), sedangkan berdasarkan data vektor peta kontur BIG skala 1:50.000 yang telah diolah, area penelitian didominasi

kelas lereng $< 8\%$ (91%) (Tabel 2 dan Gambar 3b). Klasifikasi kelerengan Tabel 1 sama seperti Tabel 3, namun karena kelerengan tertinggi hanya mencapai 27 %, maka klasifikasi terakhir menjadi 25-27%.

Berdasarkan klasifikasi citra SPOT Sub DAS Kampa memiliki 2 tipe penutupan lahan (Gambar 3c), yakni PLKCS seluas 536,4 Ha (5.960 sel) dan kebun seluas 494,73 Ha (5.497 sel). Nilai CP untuk kedua penggunaan lahan tersebut masing-masing adalah 0,1 dan 0,5.

Tabel 1. Kelas lereng menggunakan DEM

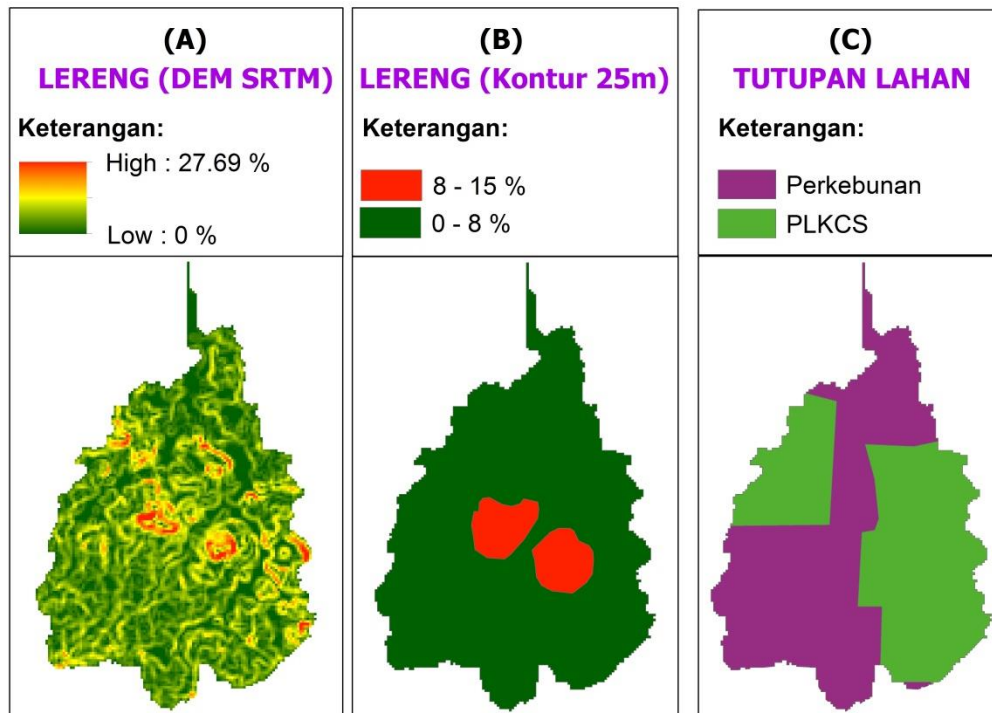
Kelas lereng (%)	Jumlah Sel	Luas (Ha)
0-8	9.949	895,41
8-15	1.316	118,44
15-25	189	17,01
25-27	3	0,27
Jumlah (Total)	11.457	1.031,13

Sumber: pengolahan data DEM SRTM

Tabel 2. Kelas lereng menggunakan Peta Kontur

Kelas Lereng (%)	Jumlah Sel	Luas (Ha)
0 - 8 %	10.459	941,31
8 - 15 %	998	89,82
Jumlah (Total)	11.457	1.031

Sumber: pengolahan data kontur



Gambar 3. Kelas kemiringan lereng dan penutupan lahan

Penelitian ini menggunakan Aplikasi Arc GIS 10.1 dan *toolset* yang ada dalam *Arctoolbox* (ESRI 2010; Raharjo dan Ikhsan 2015). Bahan yang digunakan adalah DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) hanya menggunakan resolusi 30 x 30 m karena ketersediaanya, citra SPOT 6 Pankromatik tanggal perekaman 29 April 2015 dan peta Sub DAS Kampa. Peta kontur skala 1:50.000 yang diperoleh dari website Badan Informasi Geospasial (BIG) yakni Ina-Geoportal (<http://tanahair.indonesia.go.id>).

Faktor *LS* ditentukan dengan menggunakan 2 (dua) pendekatan utama, yaitu 1) pendekatan input tabel (INT) tanpa menghitung faktor *LS* menggunakan λ dan s tetapi dengan memberikan atribut kelas lereng berdasarkan referensi (Tabel 3) pendekatan faktor *LS* dihitung (CAL)

menggunakan persamaan (1) (Wischmeier dan Smith 1978) sebagai berikut:

$$LS = \left(\frac{\lambda^m}{22,13} \right) \times (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2)$$

Keterangan:

LS : faktor topografi

λ : panjang lereng (m)

m : eksponen s (0,4 untuk s : 3,5%–4,5%)

22.13 : konstanta λ

s : kelereng (%)

0,065; 0,045; 0,0065 : konstanta s

Metode penentuan *LS* baik menggunakan pendekatan INT maupun CAL dengan metode penentuan λ dan s yang berbeda secara ringkas disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Nilai *LS*

Kelas Lereng	Keterangan	Nilai <i>LS</i>
0–8 %	Datar	0,40
8–15 %	Landai	1,40
15–25 %	Agak curam	3,10
25–40 %	Curam	6,80
>40 %	Sangat curam	9,50

Sumber: Sutapa (2010); Utomo dan Aprilia (2014); Kumendong *et al.* (2015)

Tabel 4. Perbandingan metode penentuan LS

Nama	Pendekatan	Penentuan λ	Penentuan s	Penjelasan
Metode 1	INT	Tidak dihitung	Tidak dihitung	LS menjadi atribut kelas lereng –vektor
Metode 2	INT	Tidak dihitung	Tidak dihitung	LS menjadi atribut kelas lereng-raster
Metode 3	(CAL)	$\lambda = FA \times CS$	Nilai tengah kelas lereng	L menjadi informasi per sel berdasarkan FA Sub DAS, LS menjadi atribut sel
Metode 4	(CAL)	$\lambda = FA \times CS$	$s =$ informasi sel	L menjadi informasi per sel berdasarkan FA Sub DAS, LS menjadi atribut sel
Metode 5	(CAL)	$\lambda = FA \times CS$	$s =$ informasi sel	L menjadi informasi per sel berdasarkan FA penutupan lahan, LS menjadi atribut sel
Metode 6	(CAL)	$\lambda = CS$	$s =$ informasi sel	$\lambda = 30$ m, LS menjadi atribut sel
Metode 7	(CAL)	$\lambda = CS * FD$	$s =$ informasi sel	Arah U, S, T, dan B maka $\lambda = 30$ m dan arah TL, TG, BD, BL maka $\lambda = 42,43$ m. LS menjadi atribut sel

Keterangan: INT: Input Nilai Tabel; FA: *Flow Accumulation*; FD: *Flow Direction*; CS: *Cell Size*; U: Utara; S: Selatan; T: Timur; B: Barat; TL: Timur Laut; TG: Tenggara; BD: Barat Daya; BL: Barat Laut

Penjelasan lebih rinci dari Metode 1 – 7 diuraikan sebagai berikut:

1. Metode 1

Metode 1 merupakan metode yang umum digunakan yaitu, DAS diklasifikasikan menjadi 5 kelas lereng yang dibuat dari peta kontur 1:50.000 (vektor), nilai LS setiap kelas lereng menggunakan nilai LS yang bersumber dari tabel nilai LS seperti pada Tabel 3.

2. Metode 2

Metode ini serupa dengan Metode 1, namun klasifikasi kelas lerengnya menggunakan data raster (DEM SRTM). Nilai LS setiap sel menggunakan nilai LS yang sesuai dengan Tabel 3.

3. Metode 3

Metode 3 merupakan modifikasi dari Metode 2. Faktor LS dihitung menggunakan persamaan (1). Nilai λ dan s ditentukan di setiap kelas lereng. Nilai λ ditentukan dari *flow accumulation* di Sub DAS Kampa (Anghel dan Todiciă 2008; Bosco *et al.* 2009; Ganasri dan Ramesh 2015; Markov dan Nedkov 2016; Tombuş *et al.* 2012), menggunakan persamaan di bawah ini, dan nilai s merupakan nilai tengah kelas lereng.

$$\lambda = \text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size}$$

persamaan... (2)

Keterangan:

λ : panjang lereng (m)
Flow accumulation : akumulasi aliran
Cell size : ukuran sel

4. Metode 4

Metode 4 menggunakan nilai λ dan s per sel. Nilai λ dihitung dengan cara yang sama dengan Metode 3, tetapi s diperoleh dari DEM yang diturunkan menjadi *slope*

(%). Metode ini merupakan metode yang umum digunakan dalam pendugaan erosi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG).

5. Metode 5

Metode 5 merupakan modifikasi dari Metode 4, yaitu λ ditentukan di setiap unit penutupan lahan, menggunakan *extract by mask*. Nilai λ di setiap jenis penutupan lahan ditentukan menggunakan persamaan (2). Nilai s menggunakan nilai *slope* (%) per sel.

6. Metode 6

Metode 6 menggunakan ukuran sel (*cell size*) dalam menentukan nilai λ (Nontananandh dan Changnoi 2012) dalam hal ini = 30 m.

7. Metode 7

Metode 7 serupa dengan Metode 6 namun dengan mempertimbangkan arah aliran (*flow direction*) sebagaimana dilakukan oleh Sulistyio (2011). Dalam hal ini, nilai λ dalam sel dengan *flow direction* arah barat, timur, utara dan selatan = ukuran sisi sel = 30 m, sedangkan sel dengan *flow direction* arah tenggara, barat daya, barat laut, dan timur laut. Nilai λ memiliki nilai = panjang diagonal sel = 42,43 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sebaran Nilai Faktor Lereng (LS)

Nilai LS hasil perhitungan Metode 1-7 berkisar antara 0 – 55,10. Nilai LS yang dihasilkan oleh 7 metode tersebut sebagian besar (91,21 %) bernilai $\leq 1,4$. Metode 1 yang menggunakan kelas kelerengan berupa vektor menghasilkan nilai *LS* DAS rata-rata tertimbang yang paling kecil, diikuti Metode 6, 2, 7, 5, 4, dan 3 (Tabel 5).

Tabel 5. Sebaran nilai LS (jumlah sel bernilai LS tertentu) yang dihasilkan 7 metode penentuan LS

Nilai LS	Met** 1	Met 2	Met 3	Met 4	Met 5	Met 6	Met 7
$\leq 0,4$	10.459	9.949	6.095	6.219	6.309	6.017	5.646
$> 0,4-1,4$	998	1.316	3.139	3.590	3.623	4.745	5.045
$> 1,4-3,1$	0	189	1.507	1.232	1.213	605	663
$> 3,1-6,8$	0	3	493	343	275	89	101
$> 6,8-9,5$	0	0	78	44	23	1	2
$> 9,5-12$	0	0	80	14	9	0	0
> 12	0	0	65	15	5	0	0
Jumlah	11.457	11.457	11.457	11.457	11.457	11.457	11.457
LS*	0,49	0,56	0,94	0,70	0,63	0,55	0,58

Keterangan: LS*: Rataan tertimbang Nilai LS ; **Met: Metode

2. Metode 1 dan Metode 2

Metode 1 dan 2 keduanya menggunakan kelas lereng dan LS-Tabel yang sama, tetapi menghasilkan nilai LS Sub DAS rataan tertimbang yang berbeda. Hal ini sangat logis karena sumber informasi kelas lereng yang digunakan berbeda. Kelas lereng (vektor) dibuat manual secara subyektif dari peta kontur 1:50.000 dengan interval 25 m. Metode 1 memiliki kelas lereng dengan dominansi (91%) berada pada kelas $< 8\%$ sebanyak 10.459 sel, sedangkan Metode 2 memiliki kelas lereng dengan dominansi (86%) kelas lereng $< 8\%$ sebanyak 9.949 sel. Sehingga Metode 1 dengan jumlah sel LS bernilai kecil (0,4) lebih banyak dari jumlah sel LS bernilai kecil pada Metode 2, membuat rataan tertimbang nilai LS Metode 1 lebih kecil.

Informasi ketinggian yang tidak tersedia di antara garis kontur menyebabkan hilangnya (*over simplification*) informasi variasi ketinggian yang dapat digunakan untuk membuat kelas lereng yang lebih variatif. Sehingga penyederhanaan (*simplification*) tersebut menghasilkan kelas lereng yang lebih rendah. Hal tersebut senada dengan DeMers (2005) dan Prahasta (2002) yang menyatakan bahwa model data vektor mempunyai hasil tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) yang tinggi serta data menjadi homogen. Klasifikasi dan penyederhanaan yang dilakukan secara subyektif menyebabkan *over simplification*, sedemikian rupa sehingga variasi informasi kebumih yang sesungguhnya menjadi berkurang bahkan hilang.

Penentuan LS dengan "Input Tabel" memadai digunakan selama proses pembuatan kelas lereng menggunakan sumber yang dapat dipercaya. Sumber yang dapat dipercaya dibutuhkan untuk mengetahui skala atau tingkat ketelitian data yang akan dimanfaatkan. Karena bila salah satu variabel erosi dengan skala besar digunakan secara bersamaan dengan variabel erosi dengan skala kecil akan menghasilkan peta erosi dengan skala kecil. Penentuan LS menggunakan Input Tabel

dalam pendugaan erosi, menjadi baik bila variabel penduga erosi lainnya menggunakan skala yang sama (*equivalent*), karena syarat peta yang baik harus memiliki sifat: (1) *conform* yakni peta yang digambar harus sesuai dengan bentuk asli dan kenampakan yang ada di lapangan, (2) *equidistance* yakni jarak di peta harus sesuai dengan jarak sebenarnya dan (3) *equivalent* yakni daerah atau bidang yang digambar di peta luasnya harus sesuai dengan yang sebenarnya (Murtianto 2008).

3. Metode 2 dengan Metode 3-7

Metode 2 dan metode lainnya (selain Metode 1) menggunakan sumber data yang sama, tetapi berbeda dalam menentukan nilai LS. Nilai LS Sub DAS rataan tertimbang yang dihasilkan Metode 2 hampir sama dengan nilai LS Sub DAS rataan tertimbang Metode 6. Nilai LS (Metode 2) kelas lereng $< 8\%$ adalah 0,4 (Tabel 3) yang berarti seluruh sel yang nilai s nya $< 8\%$ akan bernilai 0,4, sedangkan dengan menggunakan Metode 6, dimana LS dihitung dengan persamaan (2) menghasilkan nilai $LS \leq 0,4$ hanya untuk sel bernilai $s \leq 4\%$ (4% sama dengan nilai tengah kelas lereng $< 8\%$), demikian juga untuk kelas lereng 8–15%, nilai 1,4 (Tabel 3) mendekati nilai LS menggunakan persamaan (2) dengan s mendekati nilai tengah kelas lereng (10,4%). Persamaan (2) (Metode 6) menghasilkan nilai LS rataan tertimbang lebih kecil karena jumlah sel bernilai s pada metode 6 yang nilainya lebih kecil dari s nilai tengah kelas (Metode 2) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sel bernilai $s > s$ nilai tengah kelas (Tabel 6). Hardjowigeno dan Widiatmaka (2007) menyatakan bahwa dengan sulitnya mendapatkan atau menghitung panjang lereng, maka pengaruh panjang lereng dapat diabaikan dan data yang berpengaruh hanya kemiringan lereng. Nilai LS pada Tabel 3 pada dasarnya hanya mempertimbangkan nilai s , sehingga Tabel 3 sering dijadikan acuan sebagai nilai LS.

Tabel 6. Perbandingan nilai LS Metode 2 dan Metode 6

Nilai LS	Metode 2		Metode 6	
	Σ Sel	Σ Sel x Nilai LS	Σ Sel	Σ Sel x Nilai LS
< 0,4	9.949	3.979,6	6.017	1.379,32
>0,4-1,4	1.316	1.842,4	4.745	3.340,89
>1,4-3,1	189	585,9	605	1.190,15
>3,1-6,8	3	20,4	89	359,79
>6,8	0	0	1	7,12
Jumlah	11.457	6.428	11.457	6.277,27
Rataan		0,56		0,55

Sumber: pengolahan data DEM SRTM

Metode 7 yang merupakan modifikasi Metode 6 dimana λ dalam Metode 6 semua sel bernilai sama, yaitu sama dengan ukuran sisi sel, sedangkan dalam Metode 7 nilai λ setiap sel dapat bervariasi yaitu sama dan lebih besar dari λ sel Metode 6. Dengan demikian nilai LS rata-rata tertimbang yang dihasilkan Metode 7 \geq LS Metode 6.

Metode 3, 4 dan 5 dalam menentukan λ menggunakan nilai akumulasi aliran-arahan aliran setiap sel dikali ukuran sel (persamaan 2). Dengan metode tersebut nilai λ yang sama atau lebih kecil dari λ Metode 6 hanya sel-sel yang berada di tempat-tempat tertinggi (punggungan bukit), sedangkan sel-sel di bagian bawahnya akan lebih besar, dan semakin besar dengan semakin ke bagian hilir. Awalnya Metode 3 dan Metode 5 dimodifikasi guna memperkecil nilai LS. Namun pada akhirnya modifikasi Metode 3 justru dapat memperbesar nilai LS, karena penggunaan nilai tengah s . Sedangkan modifikasi Metode 5 yakni perhitungan arah akumulasi aliran di setiap unit penggunaan lahan mereduksi pengaruh akumulasi aliran, namun tetap menghasilkan hal yang sama, yaitu sel-sel di lembah, saluran drainase (termasuk sungai) memiliki λ yang lebih besar dibandingkan dengan sel-sel di bagian selain lembah, saluran drainase. Selain berimplikasi pada nilai LS yang lebih besar, metode akumulasi aliran ini kurang sesuai digunakan untuk prediksi erosi lembar (*sheet erosion*) yang digunakan dalam model USLE. Karena model USLE paling akurat digunakan pada tanah bertekstur sedang, panjang kemiringan kurang dari 400 kaki, kelerengan 3 sampai 18 persen, dan sistem manajemen dan tanam yang konsisten (Wischmeier dan Smith 1978). Dengan besarnya nilai λ menggunakan Metode *flow accumulation* akan membuat nilai λ menjadi *over estimate* sehingga penentuan LS menggunakan metode *flow accumulation* (Metode 3, Metode 4, Metode 5) tidak disarankan.

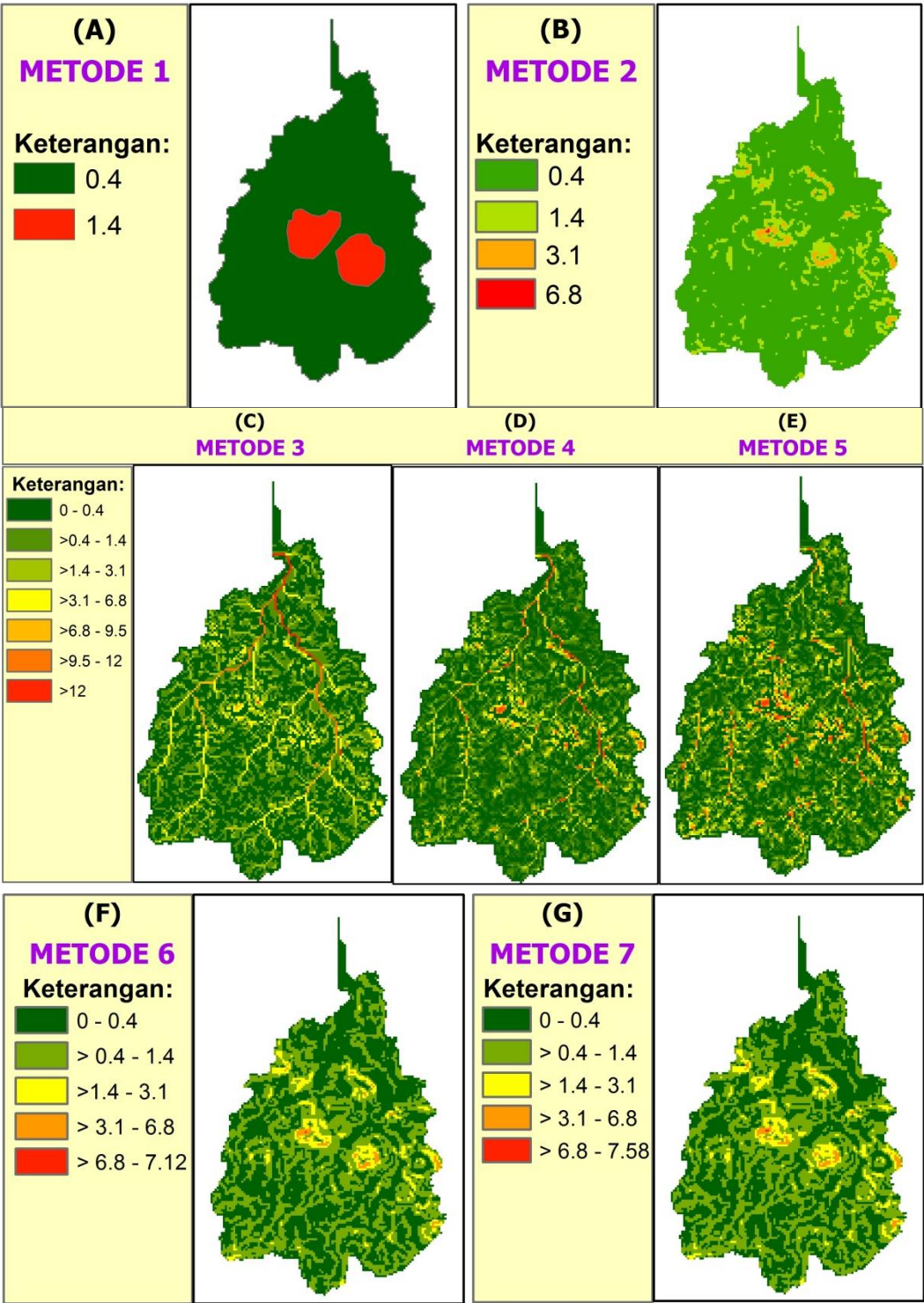
Nilai LS Metode 6 dan 7 menghasilkan nilai LS yang terdistribusi. Distribusi nilai LS mengikuti pola sebaran ruang kecuraman lereng. Artinya secara rasional memang sudah mewakili daerah yang seharusnya memiliki nilai LS yang sesuai. Namun hal tersebut menjadi tidak terlalu berarti dalam pendugaan erosi bila variabel erosi lainnya masih menggunakan data vektor atau belum terdistribusi. Karena Metode 6 dan 7 menjadi

lebih akurat bila faktor penduga lainnya diperoleh dari data sel (terdistribusi) yang memiliki resolusi spasial yang setara.

Sebaran ruang nilai LS di Sub DAS Kampa yang dihasilkan 7 metode yang digunakan disajikan dalam Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan dengan jelas 2 pola sebaran ruang nilai LS, yaitu pola sebaran ruang LS yang memperhitungkan variasi s , Metode 2, 6 dan 7 (Gambar 4b, f-g) dan pola ruang LS yang memperhitungkan variasi l , Metode 3, 4, dan 5 (Gambar 4c-e). Sebaran ruang nilai LS menggunakan pendekatan variasi s lebih menggambarkan kondisi sebenarnya, mengikuti pola sebaran ruang kecuraman lereng. Sedangkan sebaran ruang nilai LS menggunakan variasi l (*flow accumulation*) pola sebarannya tidak mengikuti pola sebaran kecuraman lereng, tetapi lebih mengikuti pola sebaran ruang jaringan drainase.

SIMPULAN

1. Metode input tabel (INT) menghasilkan indeks LS Sub DAS terkecil, Metode “*cell size*” menghasilkan Indeks LS Sub DAS terkecil kedua, dan Metode *flow accumulation* menghasilkan Indeks LS terbesar.
2. Pola sebaran faktor LS sama-sama mengikuti sebaran kemiringan lereng, sedangkan Metode *Flow Accumulation* tidak, tetapi mengikuti pola jaringan drainase.
3. Metode *Flow Accumulation* kurang sesuai untuk menduga erosi menggunakan persamaan USLE karena pola sebaran dan nilai LSnya yang paling tinggi dibandingkan Metode INT dan “*cell size*”, sehingga pendekatan ini tidak disarankan dalam penentuan faktor LS.
4. Metode “INT” dalam penentuan faktor LS merupakan metode paling sederhana dan menghasilkan nilai LS terkecil, paling sesuai untuk menduga erosi menggunakan data vektor.
5. Metode “*cell size*” merupakan metode paling sesuai untuk menduga erosi menggunakan data raster, yaitu apabila indeks erosivitas, erodibilitas, dan penggunaan lahan menggunakan raster dengan ketelitian yang sama dengan indeks LS.



Gambar 4. Sebaran nilai LS

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BP2SDM) Cq. Pusat Diklat SDM dan Direktorat Jenderal Bina Pengendalian DAS dan Hutan Lindung (BPDASHL) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas kesempatan tugas belajar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anghel T, Todiciă S. 2008. Quantitative assessment of soil erosion using GIS empirical methods. A comparative study between the Motru mining area and the Sucevita catchment. *Annals of Oradea University. Geography series*. 18:95-102.
- Arini DID, Prasetyo LB. 2007. Aplikasi sistem informasi geografis (SIG) dan penginderaan jauh untuk Model Hidrologi *Answers* dalam memperdeksi erosi dan sedimentasi (studi kasus: DTA Cipopokol Sub Das Cisadane Hulu Kabupaten Bogor). *Media Konservasi*. 12(1):67-76.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor (ID): IPB Pr.
- Bosco C, Rusco E, Montanarella L, Panagos P. 2009. Soil erosion in the Alpine area: risk assessment and climate change. *Studi Trentini di scienze naturali*. 85:117-123.
- DeMers MN. 2005. *Fundamental of Geographic Information System-Third Edition*. Massachusetts (US): John Wiley & Sons, Inc.
- Desmet PJJ, Govers G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*. 51(5): 427-433.
- [ESRI] Environmental Systems Research Institute. (2010). *Arcgis 10.1 help*. California. (US): Environmental Systems Research Institute.
- Esther MW. 2009. Using GIS techniques to determine RUSLE's 'R' and 'LS' Factors for kapingazi river catchment [thesis]. Juja (KE): University of Agriculture and Technology of Jomo Kenyatta.
- Findiana MDD, Suharto B, Wirosoedarmo R. 2013. Analisa tingkat bahaya erosi pada DAS Bondoyudo Lumajang dengan menggunakan Metode Musle. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1(2).
- Ganasri BP, Ramesh H. 2015. Assessment of soil erosion by rusle model using remote sensing and gis - a case study of nethravathi basin. *Geoscience Frontier*. 30:1-9.
- Hardjowigeno S, Widiatmaka. 2007. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Pr.
- Harsoyo B. 2010. Review modeling hidrologi DAS di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 11(1):41-47.
- Hidayat Y. 2009. Modifikasi faktor tanaman dalam Model *Answers* untuk memprediksi erosi di daerah tropika basah (studi kasus DAS Nopu Hulu, Sulawesi Tengah [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kinnell PIA. 2005. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well. *Hydrological Processes*. 19(3): 851-854.
- Kumendong NR, Walangitan HD, Tasirin JS, Thomas A. 2015. Analisa tingkat bahaya erosi dalam rangka perencanaan rehabilitasi dan konservasi tanah areal Model Mikro Das (MDM) Marawas Swp Das Tondano. *Cocos*. 6:13.
- Londongsalu DT. 2008. Analisis pendugaan erosi, sedimentasi, dan aliran permukaan menggunakan model AGNPS berbasis sistem informasi geografis di Sub DAS Jeneberang propinsi Sulawesi Selatan [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Markov B, Nedkov S. 2016. Mapping of erosion regulation ecosystem services. In *6th international conference on cartography and gis*. [Internet]. [13-17 Juni 2013 dan Albena]. Albena (BG): Bulgarian Cartographic Association. hlm 97-108
- Murtianto H. 2008. *Modul Belajar Geografi*. Bandung (ID): Universitas Pendidikan Indonesia.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR. 2009. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Texas (US): Texas Water Resources Institute.
- Nontananandh S, Changnoi B. 2012. Internet GIS, based on USLE modeling, for assessment of soil erosion in Songkhram Watershed, Northeastern of Thailand. *Kasetsart J*. 46:272-282.
- Panagos P, Borrelli P, Meusburger K. (2015). A new European slope length and steepness factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences*. 5(2):117-126.
- Prahasta E. 2002. *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung (ID): Informatika.
- Raharjo B, Ikhsan M. 2015. *Belajar ArcGIS Dekstop 10*. Banjarbaru (ID): Geosiana Pr.
- Rodríguez JLG, Suárez MCG. 2010. Historical review of topographical factor, LS, of water erosion models. *Aqua-LAC*. 2:56-61.
- Simarmata DCV, Subiyanto, S. Prasetyo Y. 2016. analisis potensi erosi menggunakan Model AGNPS (agricultural non-point source pollution model) (Studi Kasus: Hutan Yona, Yanbaru). *Jurnal Geodesi Undip*. 5(3):17-27.
- Sulistyo B. 2011. Pengaruh erosivitas hujan yang diperoleh dari rumus yang berbeda terhadap pemodelan erosi berbasis raster (studi kasus di Das

- Merawu, Banjarnegara, Jawa tengah). *Agritech*. 31(3):250–259.
- Sutapa IW. 2010. Analisis potensi erosi pada daerah aliran sungai (DAS) di Sulawesi Tengah. *Smartek*. 8(3):169–181.
- Tombuş FE, Yüksel M, Şahin M, Ozulu İM, Coşar M. 2012. Technical aspects of spatial information II. Assessment of soil erosion based on the method of USLE; Çorum province example [Internet]. [2012 May 6–10. Rome, Italy]. Rome. (IT): FIG. hlm 1–11; [diunduh 2017 Mar 5]. Tersedia pada: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2012/papers/ts05e/TS05E_tombus_yuksel_et_al_5848.pdf
- Utomo KD, Aprilia A. 2014. Perencanaan konservasi Sub DAS Cimuntur Kabupaten Ciamis. *Jurnal Karya Teknik Sipil*. 3(1):105–118.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning*. Washington DC (US): USDA.